

文章编号:1001-9014(2007)05-0380-06

高噪声率红外图像直方图加权滤波算法

王博

(暨南大学 珠海学院计算机工程研究所, 广东 珠海 519070)

摘要:针对高噪声率红外图像,提出一种基于邻域相关度量的滤波算法(HWF)。以图像灰度相关理论为基础,分析了盐椒噪声对红外图像灰度分布和灰度差分布的影响。盐椒噪声改变红外图像灰度直方图的相对幅值,但不改变其基本形状,高噪声率红外图像直方图保留了原始图像的灰度分布信息。定义了邻域相关系数以描述像素作为有效信号点的概率。用邻域相关系数作为滤波处理的强度指数,自适应调整处理窗内各像素在邻域加权滤波算法中的权重。灰度直方图体现了对原始信息的保留,邻域相关系数体现了对有效信号和噪声信号的识别和区别处理。实验表明,对于高噪声率红外图像,HWF算法具有良好去噪效果和细节保持能力。

关键词:红外图像;高噪声率;盐椒噪声;直方图加权滤波

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

HISTOGRAM WEIGHTED FILTERING FOR HIGH-NOISE-RATIO INFRARED IMAGES

WANG Bo

(Computer Institute of Jinan University, Zhuhai 519070, China)

Abstract: A histogram weighted filtering based-correlativity measurement algorithm (HWF) was proposed for high-noise-ratio infrared images heavily corrupted by salt-pepper noise. It was based on the image gray correlativity principle. The influence of salt-pepper noise on infrared image histogram and gray difference distribution was examined. Salt-pepper noise could change the relative amplitude of the gray histogram, but couldn't change the basic shape. The shape of gray histogram of infrared image was robust against salt-pepper noise, and the information of original infrared image was kept in the gray histogram even after the infrared images were heavily corrupted by salt-pepper impulse noise. A neighboring correlativity coefficient was defined to describe the probability of a pixel as a non-noisy pixel, which was used to adjust adaptively the filtering intensity. Theoretical and experimental results show that HWF has high performance of filtering noise and it can protect the details of high-noise-ratio infrared images.

Key words: infrared image; high-noise-ratio; salt-pepper noise; histogram weighted filtering

引言

红外图像具有对比度低、边缘模糊、信噪比低等特点。高噪声率图像中50%以上的像素都受到噪声污染,超过机器视觉中常规算法所能处理的范围,甚至对人的视觉感知也造成极大的干扰,原始图像及其典型高噪声率图像见图1。高噪声率红外图像滤波处理中,高强度消除噪声与最大程度保留边缘细节的矛盾尤为突出^[1]。

作为一种非线性滤波器,中值滤波具有滤除脉冲噪声并保留图像细节的能力,是常规滤波算法中

最适于高噪声率图像滤波的算法之一^[2]。近年来,一些学者在中值滤波的基础上,提出了高噪声率图像的滤波算法^[3-9]。文献[3]提出了开关中值滤波算法,改善了中值滤波算法的细节保护能力,在噪声密度较低时效果好,但随着污染程度的增加,其性能逐步接近标准中值滤波效果。文献[4]提出了迭代开关滤波算法(PSM),文献[5]提出了自适应软开关中值滤波,文献[6]提出了极值中值滤波算法,文献[7]在文献[5]的基础上,将图像区域做了更细致的分类,有一定的噪声适应能力。上述算法的基本思想是根据高噪声率图像的特性,在中值滤波算法中

收稿日期:2006-11-01,修回日期:2007-03-05

基金项目:国家自然科学基金(60172037)

作者简介:王博(1966-),男,陕西西安人,副教授,博士,主要从事数字图像处理、模式识别研究。

Received date: 2006-11-01, revised date: 2007-03-05

引入噪声判定阈值,以此来减少图象的细节损失.但对于高噪声率图像来说,由于大量的噪声点汇集一定的区域范围,中值滤波算法所依赖的图像的原始信息受到了更大程度的干扰和破坏,造成图像高频信息(细节)的丢失.

本研究在对高噪声率红外图象的统计特性(包括盐椒噪声的理论模型、受盐椒噪声影响的高噪声率红外图像直方图、一般图像的灰度差值分布等)分析的基础上,结合高斯分布的 3σ 法则,提出了一种利用图像灰度相关,消除高噪声率红外图像中盐椒噪声的滤波算法HWF.第2部分分析和说明了HWF算法的理论依据.第3部分构建了HWF算法.第4部分是对HWF有效性的验证.

1 高噪声图像的统计特性

盐椒噪声的理论模型为

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & P(0) = p/2 \\ 255, & P(255) = p/2 \\ f(x,y), & P(f(x,y)) = 1 - q \end{cases}, \quad (1)$$

式中 p 为像素 (x,y) 受盐椒噪声污染的概率,盐椒噪声幅值取最大或最小为等概率事件. $f(x,y)$ 为原图像中像素 (x,y) 的灰度幅值, $g(x,y)$ 为污染图像像素幅值.

设图像灰度级为 $L, k \in [0, L-1]$ 是图像的第 k 个灰度等级,定义盐椒噪声图像灰度直方图为

$$Hist(k) = \frac{n_k}{N}, \quad (2)$$

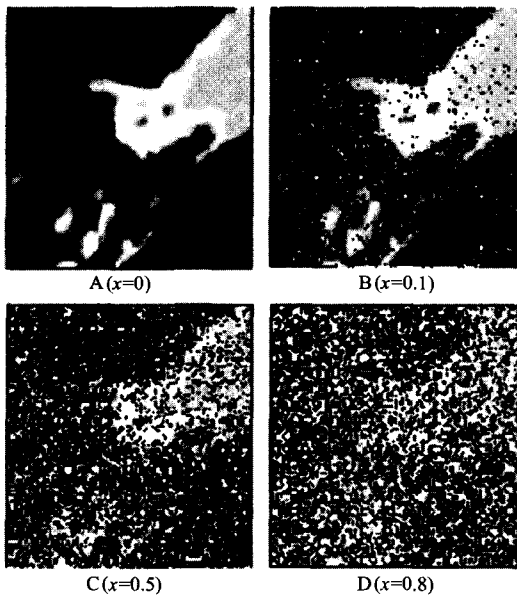


图1 红外图像及其高噪声图像
Fig.1 Infrared images and noisy images

式中 N 为图像总象素数, n_k 为第 k 个灰度等级的象素数.

1.1 灰度直方图

对图1A施加不同强度的盐椒噪声,并令被污染图像灰度直方图中的 $Hist(0) = 0$ 和 $Hist(255) = 0$,其原图像和高噪声图像见图1,其对应灰度直方图见图2.按同样的过程,经大量的Monte Carlo仿真计算,结果见表1.

图1中的盐椒噪声用Matlab6.0中的imnoise(I0, salt & pepper, χ)函数产生,函数中的I0为原图像(图1A)的数据矩阵, χ 为噪声水平.设图像灰度级为 $L, k \in [0, L-1]$ 是图像的第 k 个灰度级,原图像 X 和其高噪声图像 X^* 的直方图函数分别表示为 $HistX(k)$ 和 $HistX^*(k)$,则定义直方图相关 ρ_H 系数

$$\rho_H = \frac{\sum_{k=0}^{255} HistX(k) \times HistX^*(k)}{\sqrt{\left(\sum_{k=0}^{255} HistX^2(k)\right) \times \left(\sum_{k=0}^{255} HistX^{*2}(k)\right)}} \quad (3)$$

ρ_H 用来描述高噪声图像 X^* 的直方图和原图像 X 直方图相似性.

盐椒噪声点均匀分布于整个图像,定义 $\Delta T = |f(x,y) - f^*(x,y)|$,其中 $f(x,y)$ 和 $f^*(x,y)$ 分别为原图像 X 和其高噪声图像 X^* 在像素点 (x,y) 的灰度值, ΔT 可用来描述高噪声图像 X^* 中的像素点 (x,y) 对原图像 X 中该像素灰度值的偏离.

根据图2和表1可以看出,当噪声水平 $\chi = 0.8$ 时,噪声图像见图1D,图像中80%的像素点受到盐椒噪声的影响,其中52.39%的像素点其灰度值偏差 $\Delta T > 100$,26.28%的像素点的灰度值偏差在10和100之间,对人的视觉感知产生极大的干扰,其中

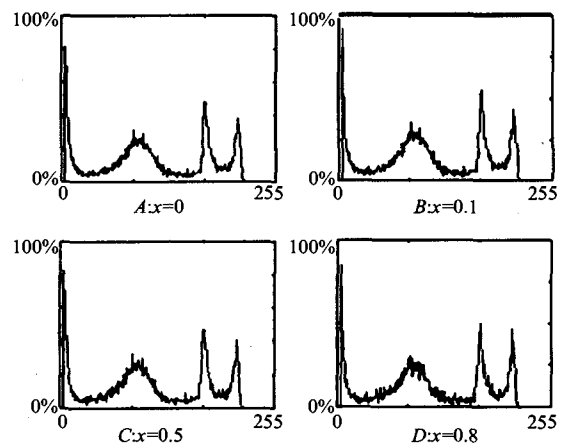


图2 图1中图像的直方图
Fig.2 Histograms for Fig.1

表1 图像直方图偏差的 Monte Carlo 仿真
Table 1 Hist differences from Monte Carlo simulation experiments

噪声水平 X	直方图相关 ρ	被影响像素率 $\beta(\%)$		
		灰度差 ΔT		
		$\Delta T < 10$	$10 < \Delta T < 100$	> 100
0.0001	1.0000	99.98	00.01	00.01
0.0005	1.0000	99.96	00.02	00.02
0.001	1.0000	99.87	00.04	00.09
0.005	1.0000	99.60	00.20	00.20
0.01	1.0000	99.04	00.30	00.66
0.05	0.9999	95.21	01.63	03.16
0.1	0.9998	89.91	03.75	06.34
0.3	0.9991	70.78	10.34	18.88
0.5	0.9975	50.24	16.48	33.28
0.7	0.9956	30.13	24.51	45.36
0.8	0.9904	21.33	26.28	52.39
0.9	0.9804	10.83	31.68	57.49

的原始图像已无法识别. 比较图 1A 和图 1D, 它们的视觉效果存在着非常大的差异, 但其直方图相关系数仍达到 $\rho_H = 0.9904$, 即高噪声图像的直方图仍和原图像直方图高度相关, 基本保持了原直方图的基本形状. Monte Carlo 仿真表明: 图像直方图对盐椒噪声有强的鲁棒性, 为从高噪声图像中恢复原图像提供了原图像的灰度分布信息.

1.2 灰度相关

图像中相邻像素高度相关^[8].

设 $f(x, y)$ 为图像 X 中像素 (x, y) 的灰度值, 定义像素 (x, y) 的 8 邻域灰度均值 $m_{(x,y)}$,

$$m_{(x,y)} = \frac{[\sum_{m=x-1, n=y-1}^{m=x+1, n=y+1} f(m, n)] - f(x, y)}{8} \quad (4)$$

定义图像 X 的邻域差值图像 Y 为

$$D(x, y) = f(x, y) - m_{(x,y)} \quad (5)$$

图 1A 的差值图像 D 的直方图见图 3.

对大量的原图像进行 Monte Carlo 仿真计算表明, 对于一般图像, 相邻像素之间的差值主要集中在零或绝对值小的范围, 差值分布可利用高斯分布 $N(u, \sigma)$ 逼近,

$$p(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(d-u)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (6)$$

分布函数的均值和方差随图像类型的不同而有所不同, 一般情况下, 均值 $u = -10 \sim +10, \alpha < 20$. 根据高斯分布的 3σ 法则, d 的取值以 99.74% 的概率分布在 $(u - 3\sigma, u + 3\sigma)$ 区间. $p(d)$ 定量地描述了像素 (x, y) 与邻域像素之间的相关程度. 对于图像 X 来说, 当像素 (x, y) 的灰度值 $f(x, y)$ 与其邻域灰度

均值 $m_{(x,y)}$ 的差 $|d| > 3\sigma$ 时, 像素点 (x, y) 为噪声点的概率为 99.74%, 而像素点 (x, y) 为非噪声点而被判定为噪声点的误判概率为发生概率为 0.26% 的小概率事件.

相邻像素间的灰度相关普遍存在于各种类型的原始图像中, 可作为原图像的先验知识, 用于高噪声图像中的噪声点检测. 在文献[6]和[7]所介绍的滤波算法中的滤波阈值 T , 实际上就是像素灰度值对邻域均值的偏离. 因此, 可取 $T = 3\sigma$, 作为图像中噪声点的滤波阈值, 根据灰度差值分布特性和根据高斯分布的 3σ 法则, 这时将信号点误判为噪声点的概率为 0.26%.

2 高噪声率图像直方图加权滤波算法

图像相邻像素高度相关, 相邻像素之间的灰度差分布可用高斯分布逼近. 根据上述图像相关特性分析可知, 对于自然图像, 邻点之间存在着很大的相关性. 某一点的灰度值与其周围点的灰度值非常接近, 在一幅图像中, 如果一个像素点的值远大于或小于其邻域的值, 则表明该像素点与其邻域的相关性小, 该像素点很可能为噪声点. 像素的相关程度可用 $p(d)$ 来定量地描述.

对于有同类型参考图像的应用场合, 可根据参考图像或类似图像, 确定原始图像灰度差分布的参数——均值 u 和方差 σ . 设某类型图像的灰度差分布满足 $D \sim N(u, \sigma)$, 实际图像 X 中的像素 (x, y) 的邻域均值定义见式(4). 根据式(6), 像素 (x, y) 的邻域相关系数为

$$\rho_{(x,y)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(f(x,y) - m_{(x,y)})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (7)$$

$\rho_{(x,y)}$ 表示像素点 (x, y) 是非噪声点的概率, 作为邻域均值滤波的权值, 体现同一处理窗内不同灰度值的像素点在滤波算法中的作用程度.

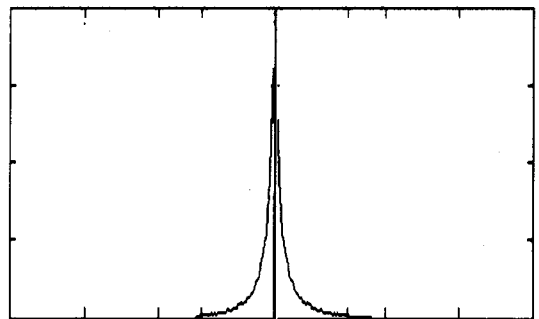


图3 图 1A 的差值图像的直方图
Fig. 3 Different image histogram for Fig. 1A

定义处理窗口 $W_{L_d}(x,y)$ 为以像素 (x,y) 点为中心、大小为 $(2L_d+1) \times (2L_d+1)$ 的窗口内所有图像点所构成的二维矩阵。像素 (x,y) 的邻域均值 $m_{w(x,y)}$ 定义为处理窗口 $W_{L_d}(x,y)$ 内除像素 (x,y) 外的所有像素灰度平均值,

$$m_{w(x,y)} = \frac{\left[\sum_{m=x-L_d}^{x+L_d} \sum_{n=y-L_d}^{y+L_d} f(m,n) \right] - f(x,y)}{(2L_d+1)^2 - 1} \quad (8)$$

令 $Hist[k], k \in [0, L-1]$ 为图像 X 的灰度直方图。定义基于相关度量的高噪声率图像直方图加权均值滤波算法(HWF)如下:

$$\hat{f}(x,y) = \frac{\sum_{i=x-L_d}^{x+L_d} \sum_{j=y-L_d}^{y+L_d} f(i,j) \times Hist[|f(i,j)|] \times p(|f(i,j) - m_{w(x,y)}|)}{\sum_{i=x-L_d}^{x+L_d} \sum_{j=y-L_d}^{y+L_d} Hist[|f(i,j)|] \times p(|f(i,j) - m_{w(x,y)}|)} \quad (9)$$

HWF 可看作为邻域均值滤波器的一种特殊形式,分别由直方图 $Hist[\cdot]$ 和邻域灰度差分布函数 $p(|f(x,y) - m_{w(x,y)}|)$, 将图像的原始信息,以权值的方式引入邻域平均。

标准邻域均值滤波算法中,邻域内的各个象素(噪声和有效信号)具有相同的权值 1,这是标准邻域滤波算法不适合于高噪声率图像的主要原因。在 HWF 算法中,引入灰度直方图作为权值邻域平均的权值,其思想在于:红外图像直方图对盐椒噪声有强的鲁棒性,提供了原图像的灰度分布信息。从统计的角度,以高概率出现在图像中的灰度值,同样以高概率出现在邻域处理窗中,这些灰度值在邻域平均运算中应具有较大的权值;以低概率出现在图像中的灰度值,同样以低概率出现在邻域处理窗中,这些灰度值在邻域平均运算中应具有较小的权值。引入相关系数 $p(|f(x,y) - m_{w(x,y)}|)$, 是为了利用相关性区分有效信号和噪声,其思想为:噪声是随机、独立的,而有效信号是相关的。因此,在邻域处理窗内,相关性大的象素点是有效信号的概率大,在滤波算法中其作用应予以强化,而灰度值相关性小的象素点是噪声的概率大,在滤波算法中其作用应予以抑制。直方图权值和相关系数的引入,目的都在于根据当前所处理象素点的具体信号特征,自适应地调整算法的滤波强度,这是 HWF 算法在高强度地滤除噪声的同时,又能够很好地保留图像细节的原因。

3 仿真实验

下面将 HWF 与标准中值滤波、极值中值滤波

算法进行比较,以验证 HWF 算法对高噪声图像滤波的有效性。

利用图 1A 的手掌红外图像进行仿真实验,图像大小为 128×128 ,灰度级为 $L = 256, k \in [0, 255]$ 。盐椒噪声用 Matlab6.0 中的 `imnoise(I0, salt & pepper, χ)` 函数产生,实验中,不同强度的盐椒噪声随机地加在原始图像上。图 4 为高噪声率图像,图 5、图 6 和图 7 分别为 HWF、标准中值滤波、极值中值滤波后的输出图像。

从仿真结果可以看出,3 种算法中,标准中值算法的滤波效果最差,对 $\chi = 0.6$ 和 $\chi = 0.7$ 的图像,尽管显著改善了图像效果,但仍有许多噪声点未能滤除,对 $\chi = 0.8$ 和 $\chi = 0.9$ 的高噪声图像,经处理后,被噪声淹没的手掌仍无法辨认。

在一般情况下,极值中值算法的细节保护能力优于标准中值滤波,但对于极高噪声率图像,极值中值滤波相对于标准中值滤波性能的提高效果有限。相对于标准中值滤波和极值中值滤波,可以看出,经 HWF 处理后,图像的视觉效果(尤其是 $\chi = 0.8$ 和 $\chi = 0.9$ 的高噪声图像)有显著提高,尽管原图像中的噪声未完全被滤除,但手掌图像已完全显现出来,图像细节得到了良好的保护,视觉效果显著改善。信噪比 SNR 显著提高。

4 结语

滤波是对被噪声污染图像的恢复操作,它一方

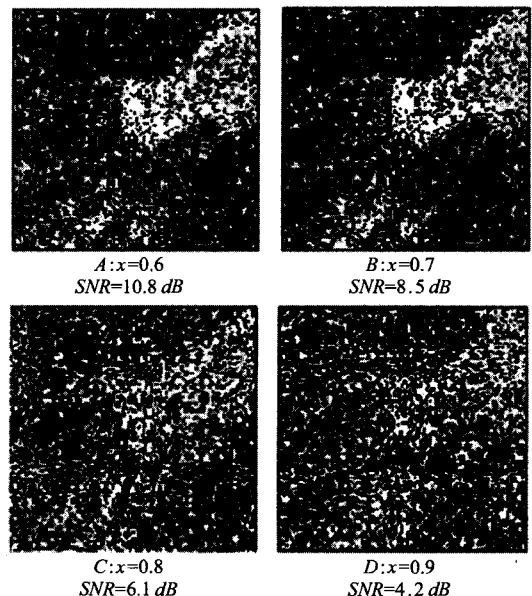


图 4 噪声图像

Fig. 4 Noisy images for experiments

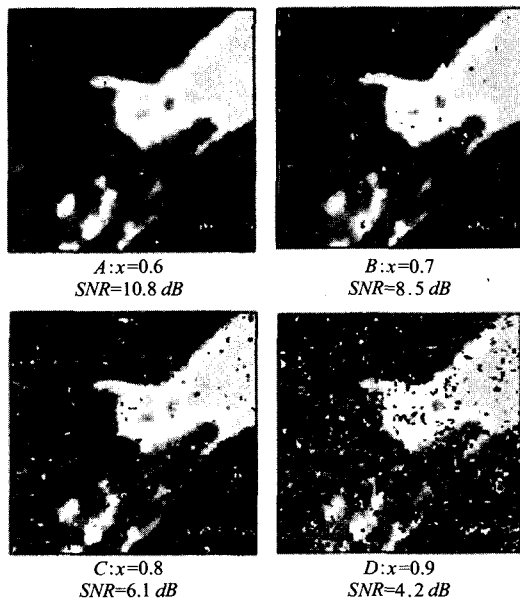


图5 HWF 滤波的输出图像
Fig.5 HWF Filtering

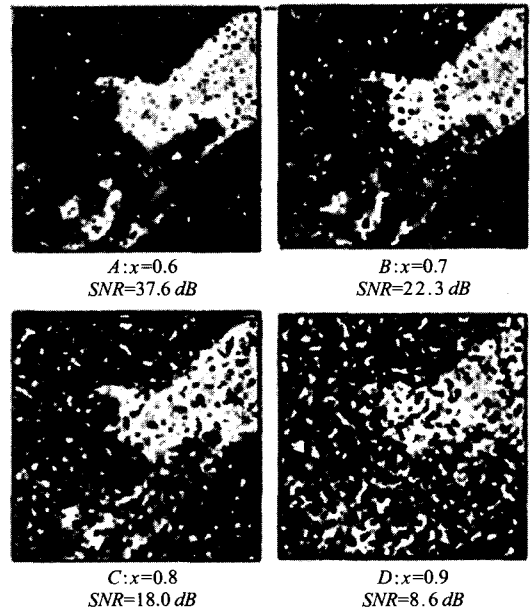


图7 极值中值滤波的输出图像
Fig.7 Extrema median filtering

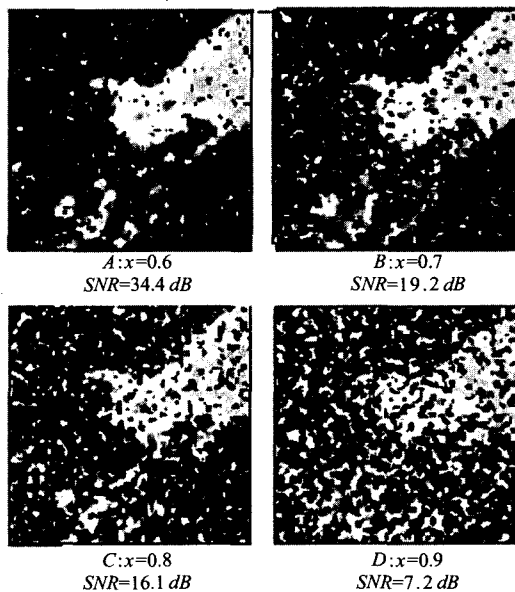


图6 标准中值滤波的输出图像
Fig.6 Standard median filtering

面依赖于仍保留在被破坏图像中的原始图像信息,另一方面依赖于对噪声和有效信号差异性定义和识别.本文利用红外图像的像素相关和直方图对盐椒噪声的鲁棒特性,提出了一种消除高噪声率红外图像中盐椒噪声的滤波算法.该算法中的直方图体现了原始图像信息,邻域相关系数描述了该像素是非噪声点的可能性.将邻域相关系数作为有效信号与噪声的度量,并作为滤波处理的强度指数,自适应调整当前处理窗内的滤波强度,以减少图像中的细节

损失.从仿真的结果可以看出,对于高噪声率红外图像,HWF算法在滤出盐椒噪声和保留原图像细节信息方面有明显的效果.

REFERENCES

- [1] ZHOU Feng-Qi, DI Xiao-Guang, ZHOU Jun. Method of infrared images denoising based on stationary multiwavelet transform[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (周凤岐, 遼小光, 周军. 基于平稳多小波变换的红外图像噪声抑制方法. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(2): 151—155.
- [2] MA Yan-Hua, WANG Jian-Yu, MA De-Min, et al. New vector filter based on background detection used in spectral images[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (马艳华, 王建宇, 马德敏, 等. 一种用于光谱图像的基于邻域背景检测的矢量滤波器. *红外与毫米波学报*), 2006, 25(2): 157—160.
- [3] Sun T, Neuvo Y. Detail-preserving median-based filters in image processing. [J]. *Pattern Recognition Letter*, 1994, 15(4): 341—347.
- [4] Wang Zhou, Zhang David. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images[J]. *IEEE Trans. On Circuits and Systems*, 1999, 46(1): 78—80.
- [5] Eng H, Ma K. Noise adaptive soft switch median filter[J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2001, 10(2): 242—251.
- [6] Xing Cang-Ju, Qu Yan-Feng, Xu Jian, et al. Multi-window adaptive filter for remove of impulse noise[J]. *Journal of Electronics and Information Technology* (邢藏菊, 曲延锋, 徐健, 等. 一种用于抑制盐椒噪声的多窗口中值滤波器. *电子与信息学报*), 2002, 24(12): 1912—1917.
- [7] Qin Peng, Ding Run-Tao. Ordering Threshold Switching Median Filter[J]. *Journal of Image and Graphics* (秦鹏, 丁润涛. 一种基于排序阈值的开关中值滤波方法. *中国图像图形学报*), 2004, 9(4): 412—416.

- [8] Wang Bo, Pan Quan, Zhang Hong-cai, *et al.* Signal filtering algorithm based on the wavelet transformation[J]. *Acta Electronica Sinica*(王博,潘泉,张洪才,等. 基于尺度相关的小波滤波算法研究. *电子学报*), 1999, **27**(11): 70—73.
- [9] YANG Lei, YANG Jie, ZHENG Zhong-Long. Detecting in-

frared small targets based on adaptive local energy threshold under sea-sky complex back grounds[J]. *J. Infrared Millim. Waves*(杨磊,杨杰,郑忠龙. 海空复杂背景中基于自适应局部能量阈值的红外小目标检测. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(1): 41—45.

(上接 379 页)



图 8 2×2 微扫描图像
Fig. 8 2×2 microscanning image



图 9 采用 2×2 微扫描复合自适应虚拟电子微扫描技术图像
Fig. 9 The image with 2×2 microscan and adaptive dummy electronic microscanning technique

由此可以看出:微扫描复合自适应虚拟电子微扫描技术相比较单纯的微扫描技术更能够较大程度的提高红外图像的空间分辨率。

4 结论

微扫描技术的出现有效的弥补了红外探测器的性能缺陷,一定程度上提高了红外图像的空间分辨率,然而随着微扫描级数的增多控制将愈加复杂,同

时红外图像的空间分辨率也并没有随着微扫描级数的增加有显著的提高.而微扫描复合自适应虚拟电子微扫描技术则采用在低级数(比如 2×2)微扫描基础上再进行自适应虚拟电子微扫描的方法,较大幅度地提高了红外图像的空间分辨率,是提高红外图像空间分辨率的有效途径。

REFERENCES

- [1] WU Xin-She, CAI Yi. Techniques of optical microscan in staring infrared imaging system [J]. *J. Infrared Millim. Waves*(吴新社,蔡毅. 红外凝视成像系统中的光学微扫描技术. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(1): 10—14.
- [2] QU Yan-ling, LU Yong-jun, SONG Min. Micro-scanning technique in infrared staring systems [J]. *SEMICONDUCTOR OPTOELECTRONICS*(曲艳玲,芦永军,宋敏. 红外凝视系统中的微扫描技术. *半导体光电*), 2005, **26**(s1): 146—148.
- [3] Edward A Watson, Robert A Muse, Fred P Blommel. Aliasing and blurring in microscanned imagery [J]. *Proc. SPIE*, 1992, **1689**: 242—250.
- [4] ZUO Yue-ping, ZHANG Jian-qi. Technique to improve resolution and imagery of a given imager-microscanning [J]. *Infrared Technology*(左月萍,张建奇. 一种提高系统分辨率、改善图像质量的技术—微扫描. *红外技术*), 2001, **23**(4): 15—21.
- [5] JIN Wei-Qi, WANG Chun-Yong, ZHANG Nan, *et al.* Study on Sub-Pixel processing algorithm for scanning FPA thermal imaging system [J]. *J. Infrared Millim. Waves*(金伟其,王春勇,张楠,等. 扫描型焦平面热成像系统的亚像元处理算法研究. *红外与毫米波学报*), 2005, **24**(4): 261—264.
- [6] ZHANG Nan, JIN Wei-qi, SU Bing-hua, *et al.* Research and recent advance of high resolution infrared image reconstruction technology [J]. *ACTA ARMAMENTARII*(张楠,金伟其,苏秉华,等. 高分辨率红外热图像重建算法的进展及研究. *兵工学报*), 2005, **26**(2): 173—176.
- [7] GU Guo-hua, FENG Guo-jin, CHEN Qian, *et al.* Adaptive dummy electric micro-scanning technique for IR FPA image pixels enhancing [J]. *OPTOELECTRONIC TECHNOLOGY*(顾国华,冯国进,陈钱,等. 自适应虚拟电子微扫描红外焦平面像素倍增技术. *光电子技术*), 2004, **24**(4): 243—253.